

**А. В. Владимиров\*, Д. А. Павлов, Е. А. Павлова**

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*d.a.pavlov@urfu.ru

Научный руководитель – канд. техн. наук Д. А. Павлов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕНИЯ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ТРУБЫ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ**

С помощью МКЭ-моделирования исследовано влияние показателя трения и калибровки валков на формоизменение трубы при продольной прокатке на короткой оправке. Исследование выполнено для трех вариантов калибровок рабочих валков: шестигранной, двенадцатигранной, шестнадцатигранной. Также изучено формоизменение труб при использовании показателя трения по Зибелю  $\psi$  в диапазоне от 0,1 до 1. Установлено влияние показателя трения  $\psi$  на безразмерный параметр, определяющий формоизменение, а также разностенность и образование дефекта «риска» на внутренней поверхности труб. Определены значения безразмерного параметра, характеризующего появление дефекта «риска».

*Ключевые слова:* короткая оправка, автоматический стан «тандем», конечно-элементное моделирование, калибровка валков, показатель трения, продольная риска.

**A. V. Vladimirov, D. A. Pavlov, E. A. Pavlova**

## **INVESTIGATION OF FRICTION INFLUENCE ON FORMATION OF A PIPE DURING LENGTHWISE ROLLING**

The influence of the friction coefficient and roll calibration on the pipe formation during longitudinal rolling on a short mandrel was investigated using the FEM simulation. The study was carried out for three different roll calibrations: hexagonal, dodecahedral, dioctahedral. Pipe formation was also studied using the Siebel index of friction in the range from 0.1 to 1. The effect of the friction coefficient  $\psi$  on the dimensionless parameter determining the shape change was determined, as well as the wall thickness deviation and the “guide mark” defect formation on the inner surface of the pipes. The values of a dimensionless parameter characterizing the appearance of a “guide mark” defect on the inner surface of pipes are determined.

*Key words:* short mandrel, automatic tandem mill, finite element modeling, roll calibration, friction coefficient, longitudinal “guide mark” defect.

Одним из ведущих трубных заводов России является ПАО «Синарский трубный завод». В состав его производственных мощностей входит трубопрокатный агрегат 140 (ТПА-140) с автоматическим станом «Тандем», на котором производят трубы из углеродистых, легированных и высоколегированных марок сталей диаметром от 73 до 168 мм и толщиной стенки от 5 до 20 мм. Важной задачей ТПА-140, требующей решения, является уменьшение объема брака по продольным рискам на внутренней поверхности труб. Образование продольных рисков происходит в процессе прокатки на автоматическом стане «Тандем», который состоит из двух последовательно расположенных станов продольной прокатки труб на короткой оправке (СПП-1 и СПП-2). На основании исследований, проведенных на ТПА-140, было установлено, что образование рисков происходит вследствие встречного течения металла при прокатке в СПП-2 [1, 2].

В ходе промышленных наблюдений установлено, что с увеличением размеров лампасов объем брака по рискам возрастает. С помощью программного комплекса Deform выполнено исследование формоизменения трубы в выпусках калибра в зависимости от выбора калибровки валков на стане СПП-1 и показателя трения  $\psi$ .

### **1. Исследование формоизменения черновой трубы в зависимости от калибровки валков СПП**

Исследование выполнено для трех вариантов калибровок рабочих валков: шестигранной, двенадцатигранной и шестнадцатигранной. При моделировании процесса прокатки использовались действующие на ТПА-140 калибровки. Исследование заключалось в установлении закономерностей изменения коэффициента  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$ , характеризующего

интенсивность утолщения металла в выпусках калибра, в зависимости от типа калибровки валков СПП-1 ( $S_{\text{вып}}$  — толщина стенки трубы в выпуске калибра;  $S_{\text{верш}}$  — толщина стенки трубы в вершине калибра). Установлено, что чем больше параметр, тем вероятнее образование рисков на внутренней поверхности труб [1, 2].

Всего в программном комплексе Deform было поставлено 3 задачи. Диаметр заготовки перед прокаткой (гильзы) был принят одинаковым во всех экспериментах  $D_r = 127$  мм, толщина стенки гильзы  $S_r = 11,3$  мм. Диаметр трубы после прокатки на стане СПП-1 составлял  $D_i = 120$  мм, а толщина стенки  $S_i = 10$  мм.

По рекомендации разработчиков программы и с учетом практических данных о прокатке труб на стане СПП-1 [3–6] температура трубы была задана равной  $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура валков и оправки  $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Закон трения по Зибелю  $\tau_s = \psi \tau_s$ . Показатель трения  $\psi$  между валком и заготовкой был принят равным  $\psi = 0,7$ , а между оправкой и заготовкой  $\psi = 0,2$ . Скорость вращения валков на СПП-1 125 об/мин. На основе результатов измерения толщины стенки установлено, что с увеличением количества граней калибра величина параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$  уменьшается. Такая закономерность наблюдается

в связи с тем, что при увеличении количества граней металл начинает более интенсивно течь в осевом направлении, нежели в тангенциальном. В результате в область выпусков затекает меньше металла и размер лампасов при прокатке в СПП-1 уменьшается. Для шестигранной калибровки валков параметр  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}} = 1,28$ , для двенадцатигранной ка-

либровки  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}} = 1,22$ , а для шестнадцатигранной  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}} = 1,20$ . Таким

образом, наименьшая разностенность была получена при использовании шестнадцатигранной калибровки. Использование этой калибровки валков позволит снизить риск образования дефекта «риска».

## 2. Исследование формоизменения черновой трубы в зависимости от выбора показателя трения

Исследование формоизменения трубы выполнено для шестнадцатигранной калибровки рабочих валков, при использовании показателя трения по закону Зибеля  $\psi = 0,1 \dots 1$ . Целью являлось определение влияния показателя трения  $\psi$  на формоизменение металла в выпусках калибра при раскатке трубы в СПП-1. Всего в программном комплексе Deform было поставлено 10 задач. Температурные условия, а также размеры труб до прокатки в СПП-1 и после были приняты такими же как в п. 1. На основе результатов вычислительных экспериментов был построен график (рис. 1), характеризующий изменение параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$

в зависимости от показателя трения  $\psi$ .

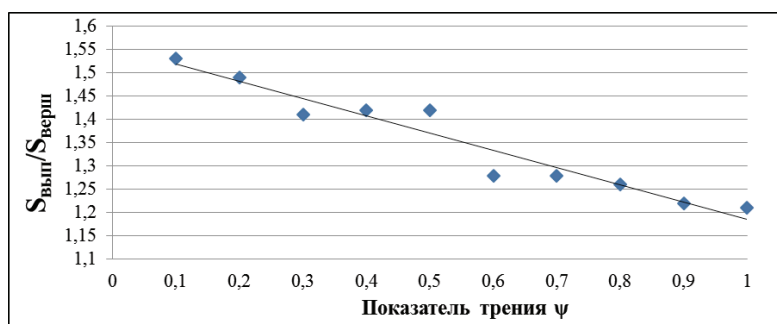


Рис. 1. График, характеризующий изменение параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$  в зависимости от показателя трения  $\psi$

Из рис. 1 видно, что с увеличением показателя трения  $\psi$  безразмерный параметр  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$  уменьшается. Это свидетельствует о том, что с уве-

личением  $\psi$  интенсивность затекания металла в выпуски калибра уменьшается, как и размер лампасов. Таким образом, увеличение показателя трения  $\psi$  способствует уменьшению вероятности образования дефекта «риска» на поверхности труб.

В ходе работы установлено, что черновые трубы при раскатке на короткой оправке приобретают наименьшую разностенность при использовании шестнадцатигранной калибровки валков, т. к. при увеличении количества граней металл начинает более интенсивно течь в осевом направлении нежели в тангенциальном. Установлено, что параметр, характеризующий интенсивность утолщения металла в выпусках калибра,  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$  уменьшается, это позволяет снизить вероятность образования

дефекта «риска». Кроме того, было получено, что с увеличением показателя трения  $\psi$  безразмерный параметр  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$ , а также вероятность образования дефекта «риска» уменьшаются.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-3011.2017.8.*

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Bogatov A. A., Pavlov D. A., Pavlova E. A. Intensification of tube plugging based on simulation results // Metallurgist. 2017. V. 60. № 9–10. P. 1016–1021
- 2 Bogatov A. A., Pavlov D. A., Lipnyagov S. V. Rolling hot deformed pipe on a stub mandrel // Steel in Transl. 2014. V. 44. № 12. P. 912–915.

- 3 Данченко В. Н., Коликов А. П., Романцев Б. А. Технология трубного производства. М. : Интерметинжиниринг, 2002. 562 с.
- 4 Производство труб / Ю. Ф. Шевакин [и др.] // М. : Интерметинжиниринг, 2005. 568 с.
- 5 Потапов И. Н., Коликов А. П., Друян В. М. Теория трубного производства: учебник для вузов. М. : Металлургия, 1991. 424 с.
- 6 Харитонов В. В., Богатов А. А., Вахрушев В. Ю. Оборудование для прокатки, прессования и волочения труб. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. 233 с.